



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL SOUSA ASSUNÇÃO

**DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE PODA DE CAJUEIRO VISANDO PRODUÇÃO DE
CARVÃO ATIVADO**

PALMAS

2022

GABRIEL SOUSA ASSUNÇÃO

**DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE PODA DE CAJUEIRO VISANDO PRODUÇÃO DE
CARVÃO ATIVADO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenharia Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes
Pedroza.

PALMAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

A851d Assunção, Gabriel Sousa
Degradação térmica de poda de cajueiro visando produção de
carvão ativado / Gabriel Sousa Assunção. – Palmas, TO, 2022.
39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Pirólise. 2. Carvão Ativado. 3. Cajueiro. I. Pedroza, Marcelo
Mendes. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL SOUSA ASSUNÇÃO

DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE PODA DE CAJUEIRO VISANDO PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador - IFTO



Eng. Ranyere do Nascimento Lôbo
Examinador - IFTO



Prof. Dra. Elaine da Cunha Silva Paz
Examinadora – IFTO

RESUMO

ASSUNÇÃO, Gabriel Sousa. **Degradação térmica de poda de cajueiro visando produção de carvão ativado**. 2022. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2022.

No Brasil, majoritariamente, os resíduos gerados são destinados a aterros sanitários ou recebem algum tipo de disposição ambientalmente incorreta, sendo que os mesmos podem ser empregados na produção de carvão ativado, contribuindo, assim, para a minimização da poluição ambiental. Este projeto propôs o desenvolvimento de uma pesquisa experimental de fabricação de carvão ativado a partir da biomassa da poda de cajueiro. Desta maneira, o objetivo foi avaliar a aplicabilidade do processo de pirólise da poda de cajueiro na produção de carvão ativado; caracterizar a biomassa; e caracterizar esse carvão gerado. A primeira pirólise da biomassa foi feita em reator de leito fixo em temperaturas que variam de 200°C a 600°C e taxa de aquecimento de 30°C/min e para a segunda pirólise foi de 200°C a 700°C e taxa de aquecimento de 30°C/min. O reator de leito fixo é composto por material de aço inox, onde apresenta 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm, é aquecido por forno bipartido reclinável e opera por regime de batelada. Após a reação e o resfriamento do material, o carvão foi coletado, pesado e armazenado. A biomassa foi caracterizada através das seguintes análises: umidade (2,11%), material volátil (86,01%), cinzas (0,69%) e carbono fixo (11,17%). Além da produção, a qualidade do carvão foi verificada por meio de análise imediata para 600°C e 700°C respectivamente: umidade (4,38% e 4,40%), material volátil (19,16% e 11,60%), cinzas (2,39% e 2,03%) e carbono fixo (74,04% e 81,95%). O rendimento em massa do carvão foi de aproximadamente 22,8% quando submetido a temperatura de 600°C e de 20,4% submetido a 700°C, o que indica um rendimento favorável aos valores definidos para estas variáveis do ponto central no planejamento experimental. O rendimento do material foi determinado por meio da relação entre a massa final, após a pirólise e a massa inicial da biomassa empregada antes da pirólise. Logo, tais resultados comprovam a eficiência na substituição de combustíveis fósseis utilizados em indústrias, por carvão oriundo de pirólise de biomassa.

Palavras-chave: Pirólise. Carvão Ativado. Cajueiro.

ABSTRAT

ASSUNÇÃO, Gabriel Sousa. **Thermal degradation of cashew tree pruning for the production of activated carbon**. 2022. 28 p. Conclusion Course Work – Bachelor of Civil Engineering – Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Clap, 2022.

In Brazil, most of the waste generated is sent to landfills or receives some type of environmentally incorrect disposal, and it can be used in the production of activated carbon, thus contributing to the minimization of environmental pollution. This project proposed the development of an experimental research on the manufacture of activated carbon from the biomass of cashew tree pruning. Therefore, the objective was to evaluate the applicability of the pyrolysis process of cashew tree pruning in the production of activated carbon; characterize the biomass; and label this generated coal. The first pyrolysis of the biomass was carried out in a fixed-bed reactor at temperatures ranging from 200°C to 600°C and a heating rate of 30°C/min and for the second pyrolysis it was from 200°C to 700°C and a heating rate of 30°C/min. The fixed-bed reactor is made of stainless steel material, 100 cm long and 10 cm in external diameter. It is heated by a reclining bipartite oven and operates in batch mode. After the reaction and cooling of the material, the coal was collected, weighed and stored. Biomass was characterized through the following analyses: moisture (2.11%), volatile material (86.01%), ash (0.69%) and fixed carbon (11.17%). In addition to production, the quality of the coal was verified through immediate analysis at 600°C and 700°C respectively: humidity (4.38% and 4.40%), volatile material (19.16% and 11.60%), ash (2.39% and 2.03%) and fixed carbon (74.04% and 81.95%). The coal mass yield was approximately 22.8% when submitted to a temperature of 600°C and 20.4% submitted to 700°C, which indicates a yield favorable to the values defined for these central point variables in the experimental design. The yield of material [2] was determined through the ratio between the final mass after pyrolysis and the initial mass of the biomass used before pyrolysis. Hence, such results prove the efficiency in the substitution of fossil fuels used in industries, by coal derived from biomass pyrolysis.

Keywords: Pyrolysis. Activated charcoal. Cashew tree.

FIGURAS

Figura 1: Vias de conversão energética da biomassa.....	15
Figura 2: Cajueiro	19
Figura 3: Diagrama esquemático das etapas do trabalho experimental.....	20
Figura 4: Coleta da amostra da poda de cajueiro.....	21
Figura 5: Amostra de aproximadamente 2,5 cm da poda de cajueiro.....	21
Figura 6: Modelo de estufa utilizado para o ensaio Teor de Umidade.....	23
Figura 7: Dessecador.....	23
Figura 8: Balança (TECNAL).....	23
Figura 9: Mufla	24
Figura 10: Reator empregado no ensaio da pirólise.....	26
Figura 11: Autoclave utilizada no ensaio da pirólise.....	26
Figura 12: Desenho esquemático para o ensaio da pirólise.....	27

TABELAS

Tabela 1: Métodos de pirólise e suas variantes: rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de biomassa (base seca).....	16
Tabela 2: Dados para início da Análise Imediata da Biomassa	28
Tabela 3: Dados para a Equação 1 e de Teor de Umidade.....	28
Tabela 4: Teor Médio de Umidade.....	29
Tabela 5: Dados para a Equação 2 e Teor de Material Volátil.....	29
Tabela 6: Teor Médio de Material Volátil.....	30
Tabela 7: Dados para a Equação 3 e Teor de Cinzas.....	30
Tabela 8: Teor Médio de Cinzas	30
Tabela 9: Dados para a Equação 4 e Teor Médio de Carbono Fixo	31
Tabela 10: Balanço de Massa.....	32
Tabela 11: Dados para início da Análise Imediata do Carvão	32
Tabela 12: Dados para a Equação 1 e de Teor de Umidade.....	33
Tabela 13: Teor Médio de Umidade.....	33
Tabela 14: Dados para a Equação 2 e Teor de Material Volátil.....	33
Tabela 15: Teor Médio de Material Volátil.....	34
Tabela 16: Dados para a Equação 3 e Teor de Cinzas.....	34
Tabela 17: Teor Médio de Cinzas	34
Tabela 18: Dados para a Equação 6 e Teor Médio de Carbono Fixo ...	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
°C	Graus Celsius
CF	Carbono Fixo
cm	Centímetros
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
g	Grama
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
Kg	Quilo Grama
LARSEN	Laboratório e Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética
m	Metro
M ² /g	Metro quadrado por grama
mg/L	Miligrama por litro
ml/min	Mililitro por minuto
NBR	Norma Brasileira
s	Segundo
T	Temperatura
TO	Tocantins

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	PIRÓLISE DE BIOMASSA	14
2.2	PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO	18
2.3	PODA DO CAJUEIRO: BIOMASSA RESIDUAL COMO MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	TIPO DE PESQUISA	20
3.2	COLETA E PREPARO DA AMOSTRA	21
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DA PODA DE CAJUEIRO	21
3.3.1	Teor de Umidade	22
3.3.2	Teor de Material Volátil	23
3.3.3	Teor de Cinzas	24
3.3.4	Teor de Carbono Fixo	25
3.4	PIRÓLISE DE BIOMASSA	25
3.4.1	Balanço de Massa	27
3.4.2	Análise do Carvão	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA	28
4.1.1	Teor de Umidade	28
4.1.2	Teor de Material Volátil	29
4.1.3	Teor de Cinzas	30
4.1.4	Teor de Carbono Fixo	31
4.2	TESTE DA PIRÓLISE	31
4.2.1	Balanço de Massa	31
4.2.2	Caracterização do carvão	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A tendência mundial de exploração dos recursos renováveis é muito visível e o Brasil vem tentando acompanhar tal tendência através do crescimento da energia eólica na matriz elétrica brasileira, a implantação de termelétricas a base de biomassa, o avanço na cultura da cana-de-açúcar e a liderança na produção de biocombustível a partir desta fonte, os quais colaboram para promover o desenvolvimento sustentável (STRAPASSON, 2004).

Segundo a estimativa de safra no Brasil em 2019, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), considerou-se uma produção anual da castanha de caju em uma ordem de 122,6 mil toneladas, no qual, somente o Estado do Ceará, foi responsável por produzir 66,3 mil toneladas (IBGE, 2019).

O caju e seus derivados é uma importante fonte de renda para a região nordestina, gerando empregos tanto no campo como nas indústrias. O Brasil está entre os 10 maiores produtores de castanha de caju no mundo, e de acordo com os dados da Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2018), a área ocupada com cajueiro no Brasil em 2017, foi calculada em 505,5 mil ha; desse total, 99,5% está localizado no Nordeste.

As indústrias de beneficiamento da castanha concentram-se em grande parte no Ceará, que possui a maior área plantada com cajueiro no País (61,6% da área nacional e 61,9% da área nordestina) (BRAINER & VIDAL, 2018).

Quanto ao termo biomassa, este se refere a toda matéria orgânica que apresenta forte potencial de utilização para fins energéticos. A poda do cajueiro é um tipo de biomassa que pode ser utilizada como fonte de energia e a partir do processo de pirólise podem ser gerados subprodutos, como por exemplo, o carvão, obtido neste processo.

Para Mota *et al.* (2015) a pirólise tem sido utilizada a milhares de anos na produção de carvão, mas somente nos últimos 30 anos, por meio da utilização de equipamentos mais sofisticados, pôde-se trabalhar com temperaturas moderadas e tempos de reações muito mais curtos.

Atualmente existe um esforço para se implantar sistemas alternativos que transformem a energia da biomassa em fontes energéticas que ajudem a diminuir o impacto ambiental e que possam tornar processos de produção autossustentáveis, diminuindo a poluição. Deste modo, uma alternativa é a produção de carvão ativado a partir de produtos residuais conferindo a estes um valor agregado (CORDEIRO; FIUZA JUNIOR, 2019).

Em vista disso, o presente estudo teve como objetivo desenvolver

conhecimento técnico sobre a poda do cajueiro apresentando e caracterizando o carvão ativado desta biomassa, gerado através do processo de pirólise.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Geralmente os resíduos sólidos produzidos na sociedade são descartados nos mais variados locais, como calçadas, lixões, áreas impróprias, terrenos baldios. Esses descartes acabam provocando a criação altos níveis de descarte, gerando um desconforto estético, além de provocar uma poluição ambiental, provocando impactos negativos na qualidade do ar, água e meio ambiente (SILVA *et al.*, 2020).

Dentro dos resíduos sólidos encontra-se a biomassa da poda do cajueiro, que é um fruto bastante consumido no Brasil bem como a sua castanha. Geralmente suas podas não tem nenhum reaproveitamento.

Diante dessa problemática, qual a possibilidade do uso de poda do cajueiro através do processo de pirólise para produção de carvão ativado?

1.2 JUSTIFICATIVA

No período de 2012 a 2016 a cultura do caju, concentrada em grande parte no Nordeste, sofreu longa estiagem. No ano de 2018, houve alta de 110,1% na produtividade nordestina, impulsionada principalmente pelo aumento da produtividade das plantas no Ceará (215,9%), como resultado do processo de substituição de copas em cajueiros gigantes e plantio de novas áreas com cajueiro anão (BRAINER & VIDAL, 2018).

A necessidade de se aproveitar resíduos se torna cada vez maior nas indústrias modernas, já que as quantidades de resíduos geradas podem atingir várias toneladas (QUIRINO, 2019).

Assim, uma das formas de tentar diminuir esse impacto é por meio da utilização das tecnologias de conversão de biomassa. Segundo Pedroza *et al.* (2011), das tecnologias de conversão de biomassa empregadas atualmente, a pirólise é a que mais se destaca se comparada às demais. Essa alternativa é caracterizada como um processo termoquímico que tem como objetivo principal obter produtos, a partir de um resíduo orgânico, com densidade energética mais alta e com propriedades superiores às da biomassa inicial.

Os produtos obtidos nesse processo, que são o bio-óleo (líquido), a fração gasosa e o carvão (sólido), podem ser empregados no abastecimento energético do próprio processo ou podem ser comercializados como produtos químicos ou combustíveis. Em razão dessas características, esses produtos possuem enorme

potencial para diversas áreas de atuação.

Como futuro profissional da área de engenharia e com consciência das consequências provocadas pelos descartes inadequados, optou-se por desenvolver uma pesquisa que buscasse minimizar esses problemas com uma alternativa para a produção de fontes renováveis, como é o caso do carvão ativado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

- Degradar termicamente a poda de árvore do tipo cajueiro para a produção de carvão ativado adotando a metodologia de pirólise.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a biomassa em estudo;
- Realizar a pirólise da biomassa em reator de leito fixo;
- Caracterizar o carvão ativado obtido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PIRÓLISE DE BIOMASSA

A definição de Pirólise pode ser dada por se tratar de um processo de degradação térmica de uma substância orgânica, sem o contato com oxigênio, e na inexistência de um agente oxidante (PEDROZA, 2011).

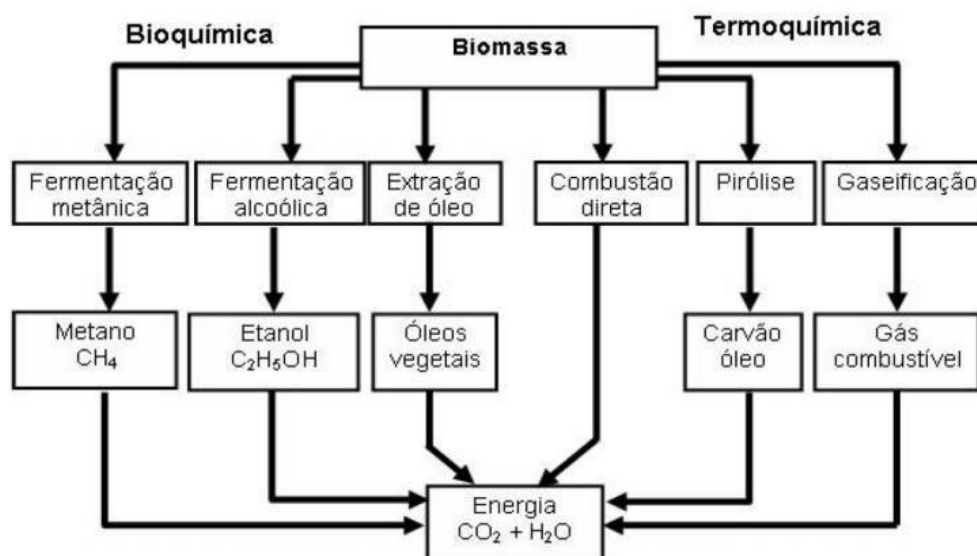
Para Bridgwater *et al.* (1999) a biomassa é uma mistura de hemicelulose, celulose, lignina e pequenas quantidades de outros orgânicos que pirolisam ou degradam em taxas diferentes e por mecanismos e vias diferentes. Sendo assim, a taxa e a extensão da decomposição de cada um desses componentes dependem dos parâmetros do processo de temperatura do reator pirolítico, taxa de aquecimento da biomassa e pressão, logo, recebeu bastante influência da configuração do reator.

Há uma grande preocupação ambiental sobre o uso de combustível fóssil e sua contribuição para o efeito estufa. Biomassas são alguns dos principais recursos de energia renovável disponíveis e fornecem uma única fonte renovável de líquidos, gases e sólidos. Elas podem ser usadas de diferentes formas para fornecer energia, tais como por processo de gaseificação e Pirólise.

A gaseificação fornece um gás combustível para combustão e aquecimento, já a Pirólise pode fornecer um líquido capaz de substituir o óleo combustível (BRIDGWATER *et al.*, 1999). A Figura 1 esquematiza as várias maneiras de se obter

energia de biomassa por diversos processos.

Figura 1 – Vias de conversão energética da biomassa.



Fonte: Rodrigues *et al.*, (2011).

A composição da biomassa apresenta principalmente celulose, hemicelulose e lignina. Hemiceluloses são polissacarídeos de parede celular presentes nas células vegetais e mais suscetíveis à hidrólise quando comparados à celulose, uma vez que apresentam menor grau de polimerização (BRAGA, 2018).

Os componentes da biomassa, quando submetidos a diferentes temperaturas, geram um produto intermediário para fins energéticos que podem ser direcionados a vários tipos de processos de conversão. Existem três processos frequentemente utilizados para extrair energia a partir de biomassa, estes são: de combustão (exotérmica), de gaseificação (exotérmica) e de pirólise (endotérmico) (FRASSOLDATI *et al.*, 2006).

Os processos pirolíticos vêm sendo aplicados para o aproveitamento de resíduos sólidos urbanos e industriais na Europa e nos Estados Unidos, em escala piloto e industrial, desde a década de 70 do século XX, e mais recentemente no Brasil em escala laboratorial (VIEIRA, 2004).

A Pirólise, talvez mais do que qualquer outra tecnologia de conversão, recebeu considerável criatividade e inovação na concepção de sistemas de reatores que fornecem os ingredientes essenciais de altas taxas de aquecimento, temperaturas moderadas e curtas, ainda segundo Bridgwater *et al.*, (1999).

A Tabela 1 apresenta informações sobre as condições operacionais do processo de conversões térmicas mais empregadas na produção de combustíveis, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, bem como sua relação com os produtos formados.

Tabela 1: Métodos de pirólise e suas variantes: rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de biomassa (base seca).

Tecnologia de pirólise	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	de T(°C)	Produtos	Bio-óleo	Carvão	Gás
Carbonização	Dias	Muito baixa	400	Carvão	30%	35%	35%
Convencional	5-30min	Baixa	600	Bio-óleo; Gás; finos de carvão	-	-	-
Pirólise rápida	0,5-5s	Muito alta	650	Bio-óleo	75%	12%	13%
Flash Líquido	<1s	Alta	<650	Bio-óleo			
Gaseificação	<1s	Alta	600-900	Químicos e Gás	5%	10%	85%
Ultra-gaseificação	<0,5s	Muito Alta	1000	Químicos e Gás	-	-	-
Pirólise a vácuo	2-30s	Média	400	Bio-óleo	-	-	-
Hidro-pirólise	<10s	Alta	<500	Bio-óleo	-	-	-
Metano-pirólise	<10s	Alta	>700	Químicos	-	-	-

Fonte: Santos (2011).

Atualmente, a utilização da biomassa florestal vem despertando diversos interesses no país e isso se explica devido a mesma servir de insumo energético com diferentes formas de aproveitamento e devido ao seu potencial renovável, além de surgir como geração de oportunidade de trabalho no processo de produção energética e criação de novos mercados para resíduos florestais (SANTIAGO; REZENDE, 2019). O Brasil é um país considerado um dos maiores produtores de produtos agrícolas e isso é devido a sua grande biodiversidade e área de cultivo e o clima tropical que também possibilita a implantação de diferentes culturas. No então, essa grande produção acaba gerando uma grande quantidade de resíduos que podem ter um grande potencial para as mais diversas utilizações. O processo de conversão da biomassa em energia pode ser realizado a partir de processos termoquímicos, biológicos, mecânicos e físicos. Dentro dos processos termoquímicos têm-se a combustão, a gaseificação e a pirólise (CARMONA *et al.*, 2017).

Santos (2011) conceitua a pirólise como o processo em que a degradação de um material sólido ocorre através do calor, formando três produtos: carvão, óleo e gás pirolítico. Dependendo das condições operacionais do reator utilizado no processo de pirólise, um destes produtos pode ser maximizado. Ressalta-se que o objetivo da pirólise é obter produtos que possuam densidade energética superior à biomassa. Já Félix *et al.*, (2017) ressalta que a pirólise é definida como o processo de decomposição térmica da biomassa na presença controlada de oxigênio e que tem como produtos compostos na fase gasosa, líquida e sólida. O CO, CO₂, o hidrogênio e os hidrocarbonetos de baixa massa molar são compostos da fração gasosa do processo. O líquido obtido é oriundo da condensação de gases, denominada líquido pirolenhoso, e o sólido é denominado de bio-carvão.

Essa termoconversão incide na ruptura da ligação carbono-carbono e na formação das ligações carbono-oxigênio, além de ser um processo de oxidação-redução onde uma parte da biomassa é reduzida a carbono, enquanto a outra é oxidada e hidrolisada dando origem a fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, entre outros. Esses produtos primários se combinam entre si para formação de moléculas mais complexas, tais como ésteres, produtos poliméricos, entre outros (BEN, 2015).

A combustão e a pirólise são considerados processos de obtenção de energia renovável, visto que a biomassa libera sua energia em forma de calor, e o carbono é reoxidado, ou seja, transformado em dióxido de carbono (CO₂). Assim, o processo só restitui à atmosfera o dióxido de carbono absorvido pela planta durante o seu crescimento, não contribuindo efetivamente para o efeito estufa, uma vez que o ciclo de crescimento e combustão é autossustentável.

2.2 PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

Carvão ativado é toda forma de carbono de elevada porosidade, que possui uma elevada capacidade de armazenar gases, líquidos ou impurezas nos seus poros. O carvão ativado é um material carbonáceo poroso que possui uma forma microcristalina, não grafítica, que passa por um processo para aumentar a sua porosidade interna. Quando ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável à de uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. O carvão ativado sofre um processamento para aumentar a porosidade interna. Uma vez ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente (CLAUDINO et. al, 2000).

O poder adsorvente do carvão é originário de sua elevada área superficial específica (na faixa de 500 - 2000 m²/g), da presença de uma variedade de grupos funcionais em sua superfície e de sua estrutura microporosa. É um material que pode ser produzido a partir de duas formas: carvão mineral fóssil ou através da biomassa. Quando produzido a partir da biomassa, o carvão ativado pode ser proveniente da biomassa rica em carbono, como por exemplo: madeira, casca de frutas, turfa, casca de nozes e de castanha do Pará, talos de milho, casca do arroz, caroço de frutas tropicais (cajá, umbu, tamarindo, seriguela, acerola), dentre outros (CORDEIRO; FIUZA JUNIOR, 2019).

Os carvões ativos derivados de biomassa podem ser produzidos por pirólise seca ou pirólise hidrotérmica, por ativação física ou química entre outros. Além disso, carvões ativados podem ser gerados por métodos de aquecimento em micro-ondas, bio regeneração, com superfície modificada, usando materiais ricos em lignina geralmente derivados de biomassa entre outros (FELIX et al., 2017).

Quando a produção do carvão ativado ocorre a partir da biomassa de rejeito, o processo inicia-se pela queima controlada do precursor, que a princípio é a casca da castanha do Pará, onde a temperatura que será utilizada dependerá da quantidade de lignina da castanha, onde, quanto maior a quantidade mais elevada será a temperatura, tomando sempre cuidado para evitar que ocorra a queima total do material, fazendo evaporar todo o carbono existente (CARMONA et al., 2017).

É nítido que nos últimos anos, o interesse pela utilização de produtos e subprodutos renováveis vem crescendo e isso se explica devido os mesmos serem seguros, baratos e disponíveis em grandes quantidades, como é o caso dos resíduos agroindustriais.

A aplicabilidade de materiais carbonosos ativados nos mais variados setores

se dá pela característica específica do material, que por sua vez está relacionada com os parâmetros do processo de produção (método de preparação, tipo de agente ativante, razão agente/matéria prima, tempo de ativação, taxa de aquecimento, temperatura de carbonização), assim como da matéria-prima utilizada (SCHULTZ, 2016).

2.3 PODA DO CAJUEIRO: BIOMASSA RESIDUAL COMO MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

2.3.1 Cajueiro no mundo e no Brasil

Anacardium occidentale L., Anacardiaceae, conhecida como cajueiro, é uma planta nativa do Brasil, característica das regiões costeiras do Norte e Nordeste. É uma planta nativa do Brasil, que é composta pela castanha de caju (verdadeiro fruto) e o caju (pseudofruto), que apresenta excelentes propriedades nutricionais e sensoriais (VASCONCELOS *et al.*, 2015).

A planta está disseminada em países como Índia, Moçambique, Tanzânia, Quênia, Vietnã, Indonésia e Tailândia (Mazzetto *et al.*, 2009). No Brasil, o cultivo do caju é encontrado em sua maioria na região Norte e Nordeste, onde representa uma parte considerável da economia local, gerando fonte de renda e trabalho nestas áreas.

A cajucultura vem crescendo no Tocantins, em 2008, o estado do Tocantins teve uma área colhida de 477 hectares com um rendimento médio de 1.279 kg/ha de castanha de caju (IBGE, 2010).

Do cajueiro (Figura 2) praticamente tudo se é aproveitado, o seu cultivo apresenta um alto potencial, agregando valores significativos advindo de seus subprodutos.

Figura 2 – Cajueiro



Fonte: EMBRAPA (2016)

2.3.2 Cajueiro no Tocantins

A cajucultura vem crescendo no Tocantins, em 2008, o estado do Tocantins teve uma área colhida de 477 hectares com um rendimento médio de 1.279 kg/ha de castanha de caju (IBGE, 2010).

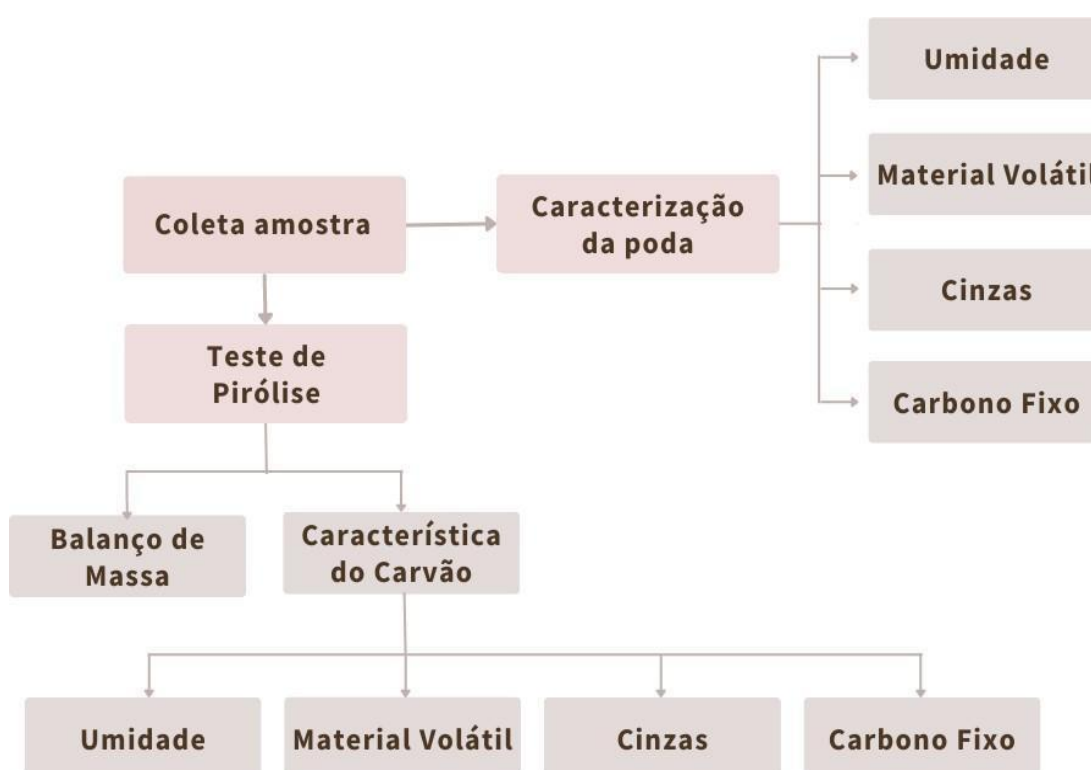
No Tocantins, nos últimos anos, o governo estadual vem fomentando a produção dessa cultura. Em 2017, foi registrada uma colheita de 149,3 toneladas de frutos e 23,6 toneladas de castanha, tendo como principais produtores os municípios de Palmas e Nova Olinda, respectivamente (IBGE, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE PESQUISA

Foi realizada uma pesquisa do tipo experimental. Esse tipo de pesquisa é caracterizado por manipular diretamente variáveis relacionadas com o objeto de estudo e tem como finalidade testar hipóteses que dizem respeito à convicção de quem está pesquisando (TUMELERO, 2019). A pesquisa seguiu algumas etapas, conforme está demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama esquemático das etapas do trabalho experimental



Fonte: Autor (2022).

3.2 COLETA E PREPARO DA AMOSTRA

A coleta (Figura 4) da amostra desta pesquisa foi a poda de cajueiro no tamanho de aproximadamente 2,5 cm (Figura 5), sendo que a mesma foi adquirida por intermédio da poda de árvores com objetivo de retirar galhos mortos e galhos que apresentavam riscos contra a edificação na Chácara Bem-te-vi em uma região próxima ao município de Palmas-TO para o desenvolvimento do experimento proposto.

Figura 4 - Coleta da amostra da poda de cajueiro



Fonte: Autor (2022).

Figura 5 - Amostra de aproximadamente 2,5 cm da poda de cajueiro



Fonte: Autor (2022).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DA PODA DE CAJUEIRO

Os procedimentos citados neste capítulo, determinaram o Teor de Umidade, o Teor de Cinzas, o Teor de Material Volátil e o Teor de Carbono Fixo, e foram realizados

com a amostra *in natura*.

3.3.1 Teor de Umidade

A umidade do material foi encontrada de acordo com a norma ASTM D 3173-87. O objetivo da análise tratou quantificar a massa perdida após submeter-se a uma temperatura controlada.

Para início do ensaio, foram adicionados cerca de 1 grama do material a um cadinho de porcelana, de antemão seco e com peso constante pré-determinado. Em seguida a amostra passou para uma estufa (Figura 6) aquecida a uma temperatura de 110°C por um período de 1 hora. Posteriormente, transferiu-se o cadinho para um dessecador (Figura 7) por 15 min, logo em seguida obteve-se o peso utilizando a balança da Figura 8. Este procedimento foi realizado em triplicata, portanto encontrou-se o Teor de Umidade final pela média aritmética simples entre os resultados. O ensaio citado foi determinado segundo a Equação 1, descrita a seguir:

$$\% \text{ umidade} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A = massa inicial da amostra, em gramas (aproximadamente 1g);

B = massa da amostra após o aquecimento, em gramas.

Figura 6 - Modelo de estufa utilizado para o ensaio Teor de Umidade.



Fonte: Autor (2022).

Figura 7 - Dessecador

Fonte: Autor (2022).

Figura 8 - Balança (TECNAL)

Fonte: Autor (2022).

3.3.2 Teor de Material Volátil

A metodologia seguida para a determinação do Teor de Material Volátil da poda do cajueiro foi mediante a proposição dada por Sanchez *et al.*, (2009), ao qual utilizou-se um cadinho com peso pré-determinado, contendo aproximadamente 1 grama do material a ser analisado. Feito isso, a amostra foi aquecida em mufla (Figura 9) com uma temperatura de 850 °C por um tempo de 7 min, sem presença de oxigênio, logo, todo o conjunto esteve

totalmente fechado. Após o procedimento, a amostra teve de ser resfriada à temperatura ambiente por 50 min, para obtenção da massa final. O ensaio também foi realizado em triplicata e a porcentagem de material volátil foi determinada por meio da Equação 2 descrita a seguir:

$$\% \text{ material volátil} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

A = massa inicial do conjunto, em gramas;

B = massa final do conjunto, em gramas;

C = massa da amostra inicial, em gramas (aproximadamente 3g).

Figura 9 - Mufla



Fonte: Autor (2022).

3.3.3 Teor de Cinzas

A cinza, segundo Cecchi (2003), trata do resultado da matéria orgânica estar submetida a altas temperaturas, gerando assim um composto inorgânico, podendo gerar: dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e dióxido de nitrogênio (NO_2).

O Teor de Cinzas foi dado, seguindo a metodologia sugerida por Cecchi (2003), onde inicialmente pesou-se um cadinho incinerado e com massa pré-determinada, em seguida foram adicionados aproximadamente 1 grama de material. Na sequência, o conjunto foi colocado dentro da mufla, ao qual aumentou-se a temperatura progressivamente até chegar a 710°C , deixando a amostra por um período de 1 hora. Feito isso, retirou-se o cadinho com a amostra e o encaminhou para um dessecador para que esfriasse por 50 min e assim que chegou à temperatura ambiente foi possível pesá-lo.

Assim como os demais, o ensaio também foi realizado em triplicata, onde a porcentagem de cinzas foi obtida de acordo com a Equação 3, descrita abaixo:

$$\% \text{ cinzas} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

A = massa do conjunto após a queima, em gramas;

B = massa do cadinho vazio, em gramas;

C = massa da amostra utilizada antes da queima, em gramas (aproximadamente 1g).

3.3.4 Teor de Carbono Fixo

Concluído todos os ensaios ditos acima, iniciou-se a análise da quantidade de Carbono Fixo contido na amostra, pois segundo Mckendry (2002), o Carbono Fixo representa todo o material restante após liberar os compostos voláteis. Para estipular seu valor, o cálculo utilizado foi o da Equação 4:

$$\% CF = 100 - (\% \text{ umidade} + \% \text{ cinzas} + \% \text{ material volátil}) \quad (\text{Equação 4})$$

3.4 PIRÓLISE DE BIOMASSA

O ensaio pirolítico foi realizado em um reator de leito fixo de aço inox, de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm. O reator (Figura 10) foi aquecido por forno bipartido reclinável (marca FLYEVER, modelo FE50RPN e linha 05/50), sendo operado em regime de batelada. O gás de arraste empregado na reação foi o vapor da água aquecido a 130 °C em autoclave (Figura 11). A temperatura do primeiro ensaio foi de 600°C e a taxa de aquecimento de 30°C/min e do segundo ensaio foi com a 700°C e a taxa de aquecimento de 30°C/min. Cada experimento teve uma duração de 60 minutos. O diagrama esquemático para o ensaio da Pirólise está representado na Figura 12.

Figura 10 - Reator empregado no ensaio da Pirólise

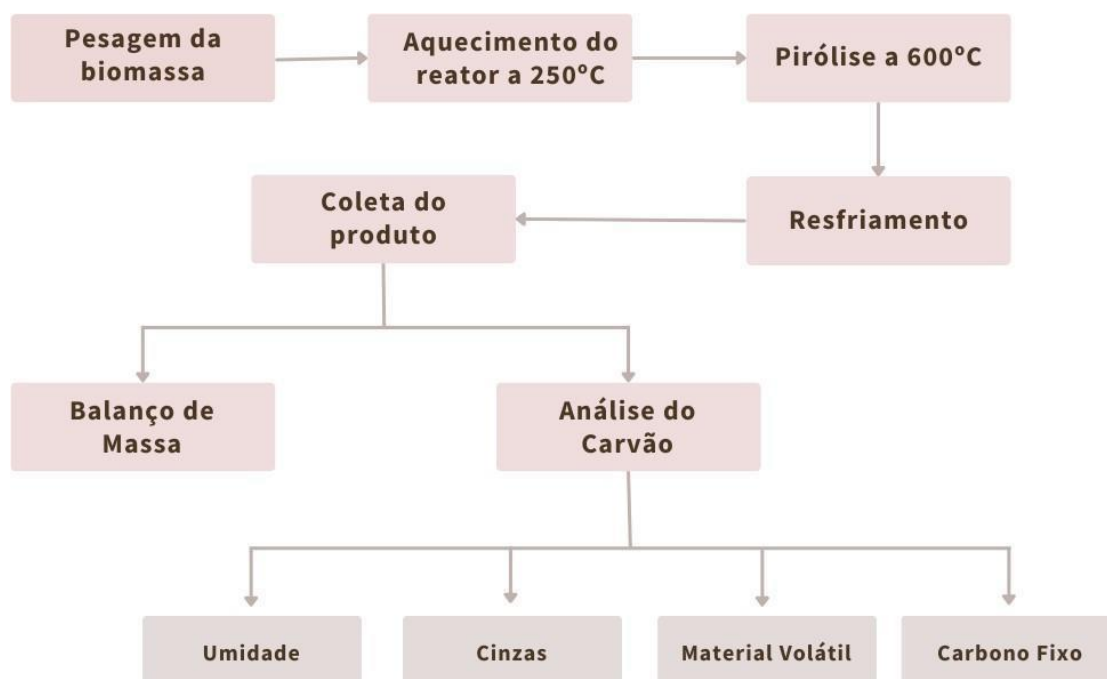


Fonte: Autor (2022).

Figura 11 - Autoclave utilizada no ensaio da Pirólise



Fonte: Autor (2022).

Figura 12 - Desenho esquemático para o ensaio da Pirólise

Fonte: Autor (2022).

3.4.1 Balanço de Massa

Mediante Himmelblau (2006), o balanço material retrata o desenvolvimento da lei de conservação das massas, onde se designa que a massa não pode ser nem criada nem destruída. Sendo assim, o Balanço de Massa foi dado de acordo com a massa que entrou e que saiu do reator, no caso, a parte sólida que seria o carvão. Portanto, a equação utilizada para determinação desse Balanço pode ser expressa pela Equação 5:

$$M = M1 - M2 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

M = massa de carvão, em gramas;

M1 = massa final, em gramas;

M2 = massa do recipiente tarado, em gramas.

Para fins de Balanço de Massa, após resfriamento da planta de Pirólise, todos os produtos foram pesados e armazenados. O carvão foi coletado diretamente do reator.

3.4.2 Análise do Carvão

A metodologia empregada para se obter tais características do carvão após a Pirólise foram as mesmas utilizadas com a amostra *in natura*, já citadas anteriormente, na seção 3.3 (itens 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da biomassa

Para dar início a caracterização da biomassa (poda de cajueiro) *in natura*, foram registrados os pesos dos cadinhos vazios (P0), e na sequência colocada cerca de 1g de amostra nos cadinhos (Tabela 2).

Tabela 2- Dados para início da Análise Imediata da biomassa

Cadinho	Peso cadinho vazio- P0 (g)	Amostra (g)
C1	32,011	1,019
C2	34,783	1,085
C3	33,42	1,052

Fonte: Autor (2022).

4.1.1 Teor de Umidade

O Teor de Umidade de uma biomassa é fator primordial para utilização como fonte de energia, pois contribui para a quantidade de energia gerada pela combustão (VALE *et al.*, 2011). Em vista disso, após realizado o ensaio de Umidade os cadinhos foram pesados (P1) e logo em seguida foram calculados os seus respectivos teores de umidade utilizando a Equação 1, e obtendo a Tabela 3 como resultado.

Tabela 3- Dados para a Equação 1 e Teor de Umidade.

Cadinho	Peso conjunto a 110°C P1(g)	% umidade
C1	33,01	1.962
C2	35,838	2.764
C3	34,455	1.615

Fonte: Autor (2022).

Após realizar a média dos três cadinhos, obteve-se o Teor Médio de Umidade (Tabela 4).

Tabela 4- Teor Médio de Umidade.

Teor Médio de Umidade (%)
2.114

Fonte: Autor (2022).

A referida biomassa alcançou um Teor de Umidade de aproximadamente 2,11% o resultado é bastante considerável, visto que segundo Jenkins *et al.* (1998), para a maioria desses compostos (biomassa) o limite que deve ser atingido é cerca de 65%, onde se ultrapassado esse valor o índice de energia não atenderia ao objetivo esperado, a combustão. Almeida (2008), diz que valores de umidade em biomassa menores que 10% são adequados para transformação em processos termoquímicos como a pirólise e a gaseificação. Logo, o valor do teor de umidade encontrado neste estudo se encontra adequado para o processo de degradação térmica.

4.1.2 Teor de Material Volátil

A facilidade ou não da biomassa de entrar em combustão, submetida a altas temperaturas, representa tanto a quantidade de voláteis como a taxa de matéria orgânica presentes em sua cadeia (KLAUTAU, 2008). Deste modo, a partir do resfriamento dos cadinhos e concluído o ensaio de Material Volátil, foi pesada a massa de cada um, utilizando a Equação 2 para o cálculo da porcentagem de voláteis. Os dados e os resultados estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5- Dados para a Equação 2 e Teor de Material Volátil.

Cadinho	Peso cadinho a 100°C, P1=A (g)	Peso cadinho a 850°, P2=B (g)	C (g)	% material volátil
C1	33,01	32,138	1,019	85.574
C2	35,838	34,895	1,085	86.912
C3	34,455	33,555	1,052	85.551

Fonte: Autor (2022).

A fim de se obter a porcentagem de Material Volátil contido na amostra, fez-se a média aritmética dos três cadinhos e obteve o resultado explanado na Tabela 6.

Tabela 6- Teor Médio de Material Volátil.

Teor Médio de Material Volátil (%)
86.012

Fonte: Autor (2022).

A amostra apresentou o percentual de 86% de Material Volátil, expressando assim, a grande facilidade de entrar em combustão em um curto tempo. Segundo García *et al.*, (2012), um alto teor de material volátil apresenta relação direta à facilidade destas biomassas entrarem em ignição em baixas temperaturas e com estabilidade de chama.

4.1.3 Teor de Cinzas

A quantidade de Cinzas contida na biomassa se trata de um fator limitante, pois se presente um alto valor, influi em uma baixa geração de energia (KLAUTAU, 2008). Na sequência, realizado o teste do Teor de Cinzas, foram registrados os devidos pesos dos cadinhos (P3) e elaborado o cálculo aplicando a Equação 3, onde os dados usados e o resultado se encontram na Tabela 7.

Tabela 7- Dados para a Equação 3 e Teor de Cinzas.

Cadinho	Peso cadinho a 710°C, P3=A (g)	Peso cadinho vazio P0=B (g)	C (g)	% Cinzas
C1	32,017	32,011	1,019	0.588
C2	34,79	34,783	1,085	0.645
C3	33,429	33,42	1,052	0.855

Fonte: Autor (2022).

Por conta de também ser um ensaio realizado em triplicata, fez-se a média aritmética do Teor de cada cadinho e teve como produto a Tabela 8.

Tabela 8- Teor Médio de Cinzas.

Teor Médio de Cinzas (%)
0.696

Fonte: Autor (2022).

O Teor de Cinza da biomassa com aproximadamente 0,7% reforça ainda mais a boa eficácia em processos termoquímicos de conversão da biomassa. Altos teores de

cinzas podem causar problemas de incrustações, entupimentos e corrosão em processos de combustão e pirólise, resultando em aumento dos custos de operação (SAIT *et al.*, 2012).

4.1.4 Teor de Carbono Fixo

Concluídos os outros ensaios e registrando seus resultados finais, o Teor de Carbono Fixo foi calculado utilizando a Equação 4, e, por conseguinte, obtendo o Teor Médio de Carbono Fixo, representado da Tabela 9.

Tabela 9- Dados para a Equação 4 e Teor de Médio de Carbono Fixo.

Teor Médio de Umidade (%)	Teor Médio de Material Volátil (%)	Teor Médio de Cinzas (%)	Teor Médio de Carbono Fixo (%)
2.114	86.012	0.696	11.176

Fonte: Autor (2022).

Identifica-se um valor de carbono fixo de 11,17% para a biomassa em estudo, nota-se que a poda de cajueiro utilizada no presente trabalho se trata de uma biomassa com uma ótima eficiência para combustão e possivelmente para a geração de energia, pois para Corton *et al.*, (2016), quanto menor a composição de cinzas e carbono fixo, maior o teor de material volátil.

4.2 TESTE DE PIRÓLISE

4.2.1 Balanço de Massa

Após realizado o Teste de Pirólise, foi feito o cálculo do Balanço de Massa para o carvão contido no reator utilizando a Equação 5, e tendo como dados utilizados e resultado a Tabela 10 para a temperatura de 600°C e para 700°C.

$$M = M1 - M2 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

M = massa de carvão, em gramas;

M1 = massa final, em gramas;

M2 = massa do recipiente tarado, em gramas.

Tabela 10- Balanço de Massa.

Temperatura (°C)	Recipiente vazio M2 (g)	Massa final conjunto M1 (g)	Massa Carvão M (g)	Rendimento (%)
600	59,682	76,273	16,591	22,8
700	59,905	74,530	14,625	20,4

Fonte: Autor (2022).

Ao expor a biomassa a uma temperatura de 600°C e depois aumentando para 700°C é possível perceber que o rendimento é diminuído, passando de 22,8% para 20,4%. De acordo com Pedroza (2011), a devolatilização dos compostos orgânicos sólidos, que é resultado do somatório de componentes individuais como celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, pode ser o fator que causa redução no rendimento da fração sólida com o aumento da temperatura, assim como a gaseificação parcial de resíduos carbonosos no carvão em altas temperaturas.

4.2.2 Caracterização do carvão

Após o ensaio de Pirólise, foram registrados os pesos dos cadinhos vazios (P0), e na sequência colocadas certas quantidades (aproximadamente 1 grama) da amostra em cada um (Tabela 11).

Tabela 11- Dados para início da Análise Imediata do carvão.

Temperatura (°C)	Cadinho	Peso cadinho vazio-P0 (g)	Amostra (g)
600	C1	36,376	1,24
	C2	33,465	1,289
	C3	33,12	1,32
700	C1	33,089	1,057
	C2	33,751	1,002
	C3	34,542	1,028

Fonte: Autor (2022).

4.2.2.1 Teor de Umidade

A metodologia para o Teor de Umidade do carvão permaneceu a mesma utilizada para a amostra *in natura*, logo, foi calculado mediante a Equação 1. A Tabela 12 traz consigo os dados e o resultado.

Tabela 12- Dados para a Equação 1 e Teor de Umidade.

Temperatura (°C)	Cadinho	Peso conjunto a 100°C P1(g)	A (g)	B (g)	% umidade
600	C1	37,562	1,24	36,376	4,354
	C2	34,7	1,289	33,465	4,189
	C3	34,379	1,32	33,12	4,621
700	C1	34,099	1,057	33,089	4,446
	C2	34,709	1,002	33,751	4,391
	C3	35,525	1,028	34,542	4,377

Fonte: Autor (2022).

Após realizar a média dos três cadinhos, obteve-se o Teor Médio de Umidade (Tabela 13).

Tabela 13- Teor Médio de Umidade.

Temperatura (°C)	Teor Médio de Umidade (%)
600	4,388
700	4,405

Fonte: Autor (2022).

É correto afirmar que o Teor de Umidade do carvão pode variar entre 15% a 30%, isso tanto por conta do processo de pirólise ao qual foi submetido, assim como pelo seu modo de armazenamento (KIMURA, 2009). Portanto, o Teor de Umidade da amostra em estudo com cerca de 4,4% é considerado dentro do esperado para esse tipo de produto.

4.2.2.2 Teor de Material Volátil

A metodologia para o Material Volátil do carvão permaneceu a mesma utilizada para a amostra *in natura*. Para o cálculo foi utilizada a Equação 2. A Tabela 14 traz consigo os dados e o resultado.

Tabela 14- Dados para a Equação 2 e Teor de Material Volátil.

Temperatura (°C)	Cadinho	Peso cadinho a 110°C, P1=A (g)	Peso cadinho a 850°C, P2=B (g)	C (g)	% material volátil
600	C1	37,562	37,328	1,24	18,870
	C2	34,7	34,45	1,289	19,394
	C3	34,379	34,125	1,32	19,242
700	C1	34,099	33,97	1,057	12,204
	C2	34,709	34,611	1,002	9,780
	C3	35,525	35,393	1,028	12,840

Fonte: Autor (2022).

Realizando a média das três amostras usadas no ensaio obteve-se o resultado explanado na Tabela 15.

Tabela 15- Teor Médio de Material Volátil.

Temperatura (°C)	Teor Médio de Material Volátil (%)
600	19,169
700	11,608

Fonte: Autor (2022).

A determinação de carbono fixos e material volátil é de fundamental importância para um processo de obtenção de energia, sendo que o carbono fixo está relacionado ao poder calorífico superior, com sua estabilidade e a resistência térmica do carvão vegetal. E o teor de material volátil elevado sugerem que a estrutura do carvão vegetal apresenta níveis de porosidade elevada e baixa densidade (REIS *et al.*, 2012).

4.2.2.3 Teor de Cinzas

A metodologia para o Teor de Cinzas do carvão permaneceu a mesma utilizada para a amostra *in natura*. Para o cálculo foi utilizada a Equação 3. A Tabela 16 traz consigo os dados e o resultado.

Tabela 16- Dados para a Equação 3 e Teor de Cinzas.

Temperatura (°C)	Cadinho	Peso cadinho a 710°C, P3=A (g)	Peso cadinho vazio P0=B (g)	C (g)	% Cinzas
600	C1	36,41	36,376	1,24	2,741
	C2	33,491	33,465	1,289	2,017
	C3	33,152	33,12	1,32	2,424
700	C1	33,117	33,089	1,057	2,649
	C2	33,769	33,751	1,002	1,796
	C3	34,559	34,542	1,028	1,653

Fonte: Autor (2022).

Realizando a média das duas amostras usadas no ensaio obteve-se o resultado explanado na Tabela 17.

Tabela 17- Teor Médio de Cinzas

Temperatura (°C)	Teor Médio de Cinzas (%)
600	2,394
700	2,033

Fonte: Autor (2022).

Os valores encontrados para o Teor de Cinzas podem ser considerados como satisfatórios, observando ainda que, ao aumentar a temperatura esse valor de cinzas é reduzido. Uma pequena quantidade de cinzas obtida em uma amostra de biomassa é um fator positivo na produção de carvão ativado, pois sua presença está relacionada a quantidade de minerais no carvão, que em elevada quantidade influencia no processo de adsorção (COUTO, 2009).

4.2.2.4 Teor de Carbono Fixo

O cálculo para o Teor de Carbono Fixo do carvão foi utilizado a equação 4 onde, seus dados e resultados estão expressos na Tabela 18.

Tabela 18- Dados para a Equação 6 e Teor de Médio de Carbono Fixo.

Temperatura (°C)	Teor Médio de Umidade (%)	Teor Médio de Cinzas (%)	Teor Médio de Material Volátil (%)	Teor Médio de Carbono Fixo (%)
600	4,388	2,394	19,169	74,047
700	4,405	2,033	11,608	81,953

Fonte: Autor (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados obtidos com esta pesquisa por meio de diferentes etapas (caracterização da biomassa, balanço de massa e caracterização do subproduto gerado através do processo de pirólise) podemos concluir que:

O alto teor de material volátil (86,01%) e o baixo teor de umidade (2,11%) da biomassa em estudo, mostra que está se encontra adequada para o processo de pirólise. O processo de degradação térmica da poda do cajueiro realizado em duas circunstâncias possibilitou alcançar rendimentos na fase líquida, sólida e gasosa. Com temperatura de 600°C e taxa de aquecimento de 30°C/min, o rendimento em massa do carvão foi de 22,8%, o que indica um rendimento favorável. O aumento da temperatura para 700°C teve efeito negativo ao rendimento do carvão, que diminuía ao longo do processo, passando para 20,4%. Logo, esta variável apresenta um importante indicativo para a composição e capacidade de produção dos subprodutos obtidos por intermédio da pirólise.

Com os resultados obtidos pelas análises da biomassa e do carvão em estudo, é possível constatar que a poda de cajueiro apresenta características favoráveis para produção de carvão. O carvão produzido também apresenta qualidades satisfatórias quanto aos resultados das análises, podendo ser uma opção para produzir carvão ativado a partir desta biomassa.

Recomenda-se para uma futura pesquisa, avaliar outros fatores que podem influenciar no rendimento de carvão da poda do cajueiro como vazão de gás inerte, outros períodos de pirólise e realizar a avaliação econômica do processo, considerando todos os produtos obtidos durante a pirólise da poda do cajueiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. B. de. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

BEN - Balanço Energético Nacional 2015 – **Ano base 2014: Relatório Síntese**. Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, EPE, pp. 62, 2015.

BRAGA, R. da S. **Desenvolvimento de filme polimérico à base de hemicelulose extraída do bagaço de cana-de-açúcar**. Caxias do Sul-RS, 2018. 47 p. Monografia (Engenharia Química)- Universidade de Caxias do Sul.

BRAINER M. S. de C. P. ; VIDAL M. de F. **Cajucultura Nordestina em recuperação**. Caderno Setorial- ETENE. Ano 3, no 54, novembro, 2018. Disponível em <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4141162/54_caju.pdf/95e65093-50e1-b48d-ab01-15f3a8f690b4 > Acesso em 20 de agosto de 2022.

BRIDGWATER, A. V. *et al.* **An overview of fast pyrolysis of biomass**. Organic Geochemistry, 30, p. 1479- 1493, 1999.

CARMONA, I. N. *et al.* **Potencial energético da biomassa e carvão vegetal de resíduos de castanha do Pará (Bertholletia excelsa Bonpl.)**. III CBCTEM – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/cbctem/papers/potencial-energetico-da-biomassa-e-carvao-vegetal-de-residuos-de-castanha-do-para--bertholletia-excelsa-bonpl->. Acesso em: Acesso em 14 de agosto de 2022.

CLAUDINO, A.; MINOZZO, A. P.; **Projeto de uma Indústria de Carvão Ativado. Trabalho Referente à Disciplina de Projetos**, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 6-7, Toledo, 2000.

CORDEIRO, J. L. C.; FIUZA JUNIOR, R. A. F. **Produção de Carvões Ativados Derivados de Biomassa e sua Aplicação em Processos de Adsorção**. Cadernos de Prospecção – Salvador, v. 12, n. 5, p. 1584-1597, dezembro, 2019. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/view/29050>. Acesso em 20 de agosto de 2022.

CORTON, J. **Expanding the biomass resource: sustainable oil production via fast pyrolysis of low input high diversity biomass and the potential integration of thermochemical and biological conversion routes**. Applied Energy: 177, p. 852-862, 2016.

COUTO, G M. **Utilização da Serragem de Eucalyptus na Preparação de Carvão Ativado**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FÉLIX, C. R. de O. *et al.* **Pirólise rápida de biomassa de eucalipto na presença de catalisador Al-MCM-41**. Revista Matéria. Suplemento, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rmat/v22s1/1517-7076-rmat-22-suppl-e11915.pdf>. Acesso em 19 de agosto de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Brasil. **Sistemas de Produção. 2016**. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados>>. Acesso em 16 de agosto de

2022.

FRASSOLDATI, A.; MIGLAVACCA, G.; CRIPPA, T.; VELATA, F.; FARAVELLI, T.; RANZI, E. (2006) **Detailed Kinetic Modeling of Thermal Degradation of Biomasses**. 29th Meeting on Combustion, Napoli, Italia.

GARCÍA, R.; *et al.* **Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. Bioresource Technology**: 103, p. 249-258, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **banco de dados**. Disponível em: < <http://www.to.gov.br/secom/noticia.php?id=17336> >. Acesso em 26 de agosto de 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=17&tema=76263. Acesso em 02 de setembro de 2022.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em abril, IBGE prevê alta de 2,2% na safra de grãos de 2019**. Agência IBGE Notícias, 09 de maio de 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24363-em-abril-ibge-preve-alta-de-2-2-na-safra-de-graos-de-2019> > Acesso em 19 de agosto de 2022.

JENKINS, B.M. *et al.* Combustion Properties of Biomass. **Fuel Processing Technology**. Vol 54, p. 17-46, 1998.

MOREIRA, R. **Estudo da pirólise lenta da casca da castanha de caju**. Dissertação (Mestrado) – IPEN, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Renata%20Moreira_M.pdf. Acesso em: 25 Set. 2020

MAZZETTO S. E; LOMONACO D. **Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial** Rev Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 732-741, 2009.

MOTA, F. de A. da S. *et al.* **Pirólise da biomassa Lignocelulósica: uma revisão**. Revista GEINTEC – ISSN: 2237-0722. São Cristóvão/SE – 2015. Vol. 5/n. 4/ p.2511-2525. Disponível em:<http://www.revistageintec.net/index.php/revista/article/view/574>. Acesso em 01 de setembro de 2022.

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15915>. Acesso em 01 de setembro de 2022.

QUIRINO E. C. G. **Obtenção da farinha do penducúlo de caju e seu emprego na formulação de bolo rico em fibras**. Monografia (graduação). Universidade Federal da Paraíba- João Pessoa, 2019.

REIS, A. A.; PROTÁSIO, T. de P. MELO, Isabel C. N. A. de;; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. de C. O.. **Composição da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus urophylla em diferentes locais de plantio**. Pesquisa Florestal Brasileira, [s.l.], v. 32, n. 71, p.277-290, 28 set. 2012. Embrapa Florestas.

<http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.277>.

RODRIGUES, T. O. *et al.* **Bio-óleo: uma alternativa para valorização energética da biomassa.** Revista Brasileira de Energia, Vol. 17, Nº 2, 2º Sem. P. 39-56, 2011.

SAIT, H. H.; *et al.* **Pyrolysis and combustion kinetics of date palm biomass using thermogravimetric analysis.** Bioresource Technology: 118, p. 382-389, 2012.

SILVA, F. T. M. - **Valorização da madeira Eucalyptus sp. via pirólise [recurso eletrônico]: caracterização e rendimentos dos produtos.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2019.

SILVA, G. *et al.* **Avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos de um município de pequeno porte mediante os critérios técnicos e ambientais.** GC Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. V. 08, n. 61, 2020. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2414/2239. Acesso em 07 de setembro de 2022.

STRAPASSON, A. B., A. **“Energia Térmica e o Paradoxo da Eficiência Energética: Desafios para um Novo Modelo de Planejamento Energético”**, Dissertação de Mestrado, USP/SP, São Paulo, SP, Brasil, 2004.

SANTAGO, F. L. S.; REZENDE, M. A. **Aproveitamento de resíduos florestais de Eucalyptus spp na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica.** Energ. Agric., Botucatu, vol. 29, n.4, p.241-253, outubro-dezembro, 2014. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/948>. Acesso em 03 de agosto de 2022.

SANTOS, K. G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo.** Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15058/1/TeseParte1.pdf>. Acesso em: 01 Out. 2020

SCHULTZ, J. **Obtenção de carvão ativado a partir de biomassa residual para a adsorção de poluentes.** Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/48962/R%20-%20T%20-%20JULIANA%20SCHULTZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 Out. 2020

TSAMBA, A. J.; YANG, W.; BLASIAK, W. (2006) **Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells.** Fuel Processing Technology. v. 87, p. 523-530.

TUMELERO, N. **Pesquisa experimental: conceito, definições e como fazer em 5 passos.** Setembro de 2019. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/pesquisa-experimental/>. Acesso em 01 de setembro de 2022.

VASCONCELOS M. S. , GOMES R. N. F., de OLIVEIRA M. L., NUNES P. D. C., TOMÉ A. R., MAIA de S. F. Y., PINHEIRO F. G., MOURA C.F., MIRANDA M.R., MOTA E. F., de MELO D. F. **Anti-inflammatory and wound healing potential of cashew apple**

juice (*Anacardium occidentale* L.) in mice. Experimental Biology And Medicine. 2015; 240(12): 1648-1655.

VIDAL, M. F. “**Situação da cajucultura nordestina após a seca**”, Caderno Setorial Etene, ano 1, n. 4, pp. 17-25, 2016.

VIEIRA, G. E. G. **Fontes alternativas de energia – Processo aperfeiçoado de conversão térmica.** 2004. 181p. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2004.